

0- 769994

*На правах рукописи*



**МЕТЕЛКИН Алексей Сергеевич**

**МИГРАЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЦЕПИ  
ПОЧВА – РАСТЕНИЕ НА ПРИФЕРМСКИХ ЗЕМЛЯХ  
С РАЗНОЙ СТЕПЕНЬЮ ЗАГРЯЗНЕНИЯ  
В ЦЕНТРАЛЬНОМ РАЙОНЕ НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ  
ЗОНЫ РОССИИ**

**Специальность 03.00.16 - Экология**

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук**

**Москва 2008**

Работа выполнена в лаборатории исследований экологических проблем в животноводстве Всероссийского государственного научно-исследовательского института животноводства Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ВГНИИЖК Россельхозакадемии)

**Научный руководитель:** доктор биологических наук  
Веротченко Маргарита Александровна

**Официальные оппоненты:** кандидат биологических наук  
Фридберг Ранса Владимировна;  
доктор биологических наук, профессор  
Зубкова Валентина Михайловна

**Ведущая организация:** Российский государственный аграрный  
университет - МСХА имени К.А.Тимирязева

Защита состоится «25» января 2008 г. на заседании диссертационного совета Д 220.056.01 в ФГОУ ВПО «Российский государственный аграрный заочный университет» по адресу: 143900, Московская область, г. Балашиха 8, ул. Фучика, 1. Учёный совет ФГОУ ВПО РГАЗУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГОУ ВПО РГАЗУ.

Автореферат разослан и размещен на сайте 20 декабря 2008 г.

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000437312

Учёный секретарь диссертационного совета  
доктор сельскохозяйственных наук

*Е.И. Кузнецова* — Е.И. Кузнецова

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Проблема обеспечения населения безопасной сельскохозяйственной продукцией является приоритетным направлением развития национальной экономики. В рамках проблемы важное место отведено вопросам развития молочного животноводства в густонаселенных районах промышленного центра Российской Федерации (РФ). Однако в районах с напряженной экологической ситуацией решение проблемы невозможно без профессиональных знаний по миграции и накоплению тяжелых металлов (ТМ) в почве, кормах и животноводческой продукции.

Традиционные методы агроэкологического обследования недостаточно учитывают специфику пространственного распределения тяжелых металлов в почвах и растениях на прифермских сельскохозяйственных угодьях. Величина превышения предельно допустимой концентрации (ПДК) рассчитывается, как правило, на основе анализа объединенных проб и арифметических средних, что не позволяет оценить истинную загрязненность участков с высокой ненормализованной, локально ориентированной неоднородностью (Р.М.Алексахин, 2005).

В Московской и Тульской областях значительные объемы мяса и молока производят на фермах, расположенных в промышленно развитых районах, нередко вблизи автомагистралей высокой интенсивности. Это может приводить к опасному локальному загрязнению. Информации о характере распределения ТМ на прифермских землях недостаточно. Отсутствие этих знаний усложняет обоснование системы отбора проб и интерпретацию результатов. Все это затрудняет получение конкретных знаний о миграции ТМ, необходимых для разработки и освоения, точных агротехнологий и методов, исключающих экотоксикантов из цепи питания (Е.С. Бродский, 2006).

Настоящая работа является плановой работой Всероссийского института животноводства и проводилась с 2001 по 2005 гг.

**Цель и задачи исследований.** Целью работы было изучение миграции ТМ в цепи почва – растение на прифермских землях с разной степенью загрязнения в центральном районе Нечерноземной зоны России.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить пространственное распределение содержания ТМ в почве прифермских угодий.
2. Изучить картину накопления ТМ в кормовых растениях на прифермских угодьях.
3. Выявить специфику и характер миграции ТМ в цепи почва - растение на прифермских землях.
4. Оценить экологическую ситуацию прифермских угодий в зонах разной степени загрязнения ТМ окружающей среды и продукции животноводства.

**Научная новизна.** Впервые проведено комплексное изучение миграции ТМ в цепи почва - растение на прифермских землях в промышленно развитом

Центральном регионе РФ. Выявлены особенности пространственного распределения и содержания ТМ в почве и кормовых растениях при разной удаленности угодий от ферм и необходимость использования адекватных статистических оценок. Определено воздействие ферм на загрязнение окружающей среды ТМ. По содержанию ТМ в системе почва - растение оценена экологическая ситуация на прифермских землях Московской и Тульской области.

**Практическая значимость работы.** Полученная информация о миграции тяжелых металлов в цепи почва - растение на прифермских полях Московской и Тульской области служит основой для обследования, статистической обработки данных и организации мониторинга при планировании и производстве экологически безопасной продукции животноводства в районах с высокой техногенной нагрузкой.

Основные положения, выносимые на защиту:

- особенности характера пространственного распределения ТМ в почве и растениях на прифермских территориях промышленного центра РФ и обоснование адекватных (регулярно-случайных) систем обследования и устойчивых статистических оценок в зонах разной степени загрязнения;

- специфика миграции ТМ в цепи почва - растение на прифермских землях;

- необходимость комплексных агроэкологических обследований на прифермских полях, в районах с интенсивным животноводством, на загрязненность ТМ в центральном районе Нечерноземной зоны России с выявлением доли площади и места расположения очагов выше ПДК/ОДК.

**Апробация работы.** Материалы диссертации были доложены на 10-й Международной конференции студентов и аспирантов по фундаментальным наукам - «Ломоносов - 2003»; 2-й Международной геоэкологической конференции «Геоэкологические проблемы загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами - 2004»; 5-й научной конференции с международным участием «Миграция тяжелых металлов и радионуклидов в звене: почва - растение (корм) - животное - продукт животноводства - человек - 2005».

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, собственных исследований, заключения, выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 180 страницах машинописного текста, содержит 28 таблиц и 28 рисунков. Список использованной литературы включает 215 источников, в том числе 50 иностранных. В приложениях 56 таблиц.

## **2. МЕСТО, УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Исследования проводились в 2001-2005 гг. в типичных сельскохозяйственных предприятиях с молочно-мясной специализацией в Тульской и Московской областях. Обследованными были 6 полей прифермских

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
ИМ. Н. И. ЛОБАЧЕВСКОГО  
КАЗАНСКОГО ГОС. УНИВЕРСИТЕТА



севооборотов с различающимся рельефом и удаленностью от ферм (табл. 1).

Таблица 1

**Характеристика мест проведения исследований**

Область, район	Московская, Подольский			Тульская, Дубенской		
Хозяйство***	ОПХ «Дубровицы»			СПК «Ударник», СПК «Заветы Ленина», СПК «Воскресенское»		
Номера полей, культура	14*	16*	17**	озимая рожь	картофель	люцерна
Географические координаты	55°26' с.ш. 37°33' в.д.			54°04'с.ш. 36°57' в.д.	54°04'с.ш. 37°03' в.д.	54°06'с.ш. 36°04' в.д.
Удаленность участка от фермы, м	300	20	150	30	50	70
Склон,°	1	1-2	3	1-2	2-3	1-2
Почвы	Дерново - подзолистые					

Примечания: \*многолетние злаково-бобовые смеси; \*\*кормовые корнеплоды; \*\*\*далее – «Дубровицы», «Ударник», «Заветы Ленина», «Воскресенское».

Изучение миграции ТМ в цепи почва – растение проводились в лаборатории исследований экологических проблем в животноводстве ВГНИИЖ.

В работе использовали регулярные и регулярно-случайные схемы опробования (сетки, трансекты). В каждой площадке опробования (5x5 м) из 10-15 случайно распределенных точек, отбирали почвенные (массой 300-250 г) из слоя 20 см (буром БП-25-15) и растительные пробы (450-500 г).

Подготовка проб и анализ выполнен в соответствии с ГОСТами: 174.3.01-83 – «Общие требования к отбору проб»; 174.4.02-84 – «Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа»; кислотность – 26483-85; подвижный фосфор по Кирсанову – 26207-84; гумус по Тюрину – 26213-84; общий азот методом Кьельдаля; обменный калий по Кирсанову, в лаборатории не деструктивных экспресс-методов ЦИНАО, и лаборатории экологических проблем животноводства ВИЖа.

Определение подвижных форм ТМ в почвах проводили в пробах почв атомно-абсорбционным анализом на ААС-30 в аммонийно-ацетатной вытяжке pH 4,8; кислоторастворимых форм - в вытяжке 5М HNO<sub>3</sub> (ОКСТУ – 0017).

Определение ТМ в растениях проводили в соответствии с межгосударственными стандартами «Сырье и продукты пищевые (ГОСТ 30692-2000); методики определения токсических элементов» 1999 г.

Экспериментальные данные обрабатывали методами одномерной и многомерной статистики с использованием пакетов программ Excel и Statistica. В процессе исследований был проведен анализ 585 почвенных и растительных образцов. Всего проведено 4680 агрохимических и экологических анализов почвы, 1170 агрохимических и экологических

исследований растений, 12 геодезических съемок. Обобщено 5862 показателей образцов почвенных экосистем и растительных сообществ.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

#### 3.1. Особенности пространственного распределения ТМ и основных элементов питания в почвах на прифермских землях

Результаты обследования содержания ТМ в почвах в «Дубровицах» показали, что содержание ТМ было неоднородным. Выделялись участки, превышающие ОДК по Cd и Ni на полях № 14 и 17 соответственно. По средним арифметическим значениям содержание ТМ в «Дубровицах» составило: по Cd - 1,3 ОДК, Pb - 0,2 ОДК, Zn - 0,3 ОДК, Cu - 0,1 ОДК, Ni - 0,7 ОДК и Cr 0,4 ОДК.

В хозяйствах Дубенского района Тульской области превышение ОДК было выявлено по Cd - 2 ОДК и Cr - 2 ОДК в «Ударнике»; по Cd - 2 ОДК и Zn - 1,5 ОДК в «Заветах Ленина»; по Cd - 2 ОДК, Zn - 1,5 и Cr - 2,5 ОДК в «Воскресенском». Пример неоднородного содержания ТМ, характерный для всех обследованных полей, показан на рис.1.

Обследования прифермского поля в «Ударнике», расположенного на склоне, ниже фермы, выявили увеличение мощности гумусового слоя по направлению от фермы.

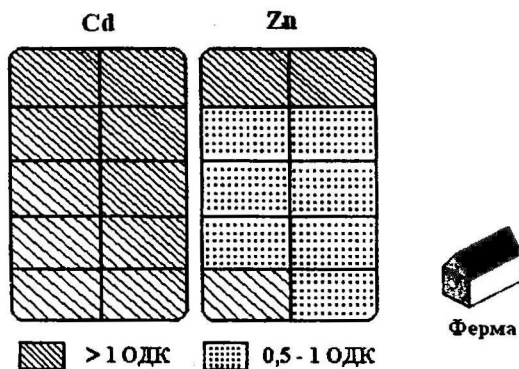


Рис. 1. Пространственное распределение содержания Cd и Zn в почве прифермского поля в «Заветах Ленина»

Среднее арифметическое значение содержания кадмия в почвах «Ударника» и «Воскресенского» колебалось от 2,5 до 4,5 мг/кг.

Близкие и превышающие ОДК содержания кадмия (2,5 мг/кг) и хрома (128,5 мг/кг) и в «Ударнике»; кадмия (3,2 мг/кг) в «Заветах Ленина»; кадмия (4,5 мг/кг), цинка (277,5 мг/кг) и хрома (186,5 мг/кг) в «Воскресенском»

вызывают озабоченность. Так как значения арифметической средней могут быть смещены, а порой и не информативны, в подобных ситуациях необходимо проводить глубокий структурный анализ выборок, а вместо смещенной арифметической средней использовать медиану.

В нашем случае анализ показал, что содержание ТМ в почве прифермских кормовых угодий сильно варьировало (14-125%). Наибольшее варьирование прослеживалось по Cd (48%) и Cr (43%) в «Ударнике»; Pb (57%) и Cd (37%) в «Заветах Ленина»; Ni (32%) в «Воскресенском». На части площадей содержание ТМ приближается к ОДК, больше всего это было выражено Zn в «Заветах Ленина». О сильном пространственном варьировании ТМ на прифермских полях можно судить по разности максимальных и минимальных значений содержания ТМ. Таким образом, по ряду ТМ выделялись как чистые, так и участки с содержанием ТМ на уровне ОДК.

В ходе детального обследования почвенного покрова прифермских угодий наряду с ТМ было определено и проанализировано содержание агрохимических показателей (табл.2).

Таблица 2.

**Статистические характеристики содержания подвижных фосфатов, кислотности и содержания ТМ в почве прифермского поля № 16 (многолетняя злаково-бобовая смесь) в Дубровицах, в мг/кг, 2002 г.**

Показатель	pH ксl	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
Среднее арифметическое ( $\bar{x}$ )	6,0	151,1	9,7	146,6	11,4	35,9	35,4
Ошибка выборочной средней	0,1	17,1	2,4	4,0	1,0	2,9	2,9
1-й квартиль (L <sub>25</sub> )	5,8	90	0,0	130,0	7,5	25,0	27,5
Медиана	5,9	175	0,0	140,0	12,5	38,5	35,0
3-й квартиль (L <sub>75</sub> )	6,2	185	25,0	152,5	15,0	45,0	40,5
Стандартное отклонение, $\sigma$	0,3	61,6	12,2	20,0	4,7	14,3	14,6
Минимум, min	5,5	225	0,0	122,5	2,5	7,5	17,5
Максимум, max	6,7	55	25,0	187,5	17,5	60,0	90,5
Коэффициент вариации, %	4,9	40,8	125,2	13,6	41,6	39,8	41,1

Примечание. ОДК ТМ в почве, мг/кг: Cd -2,0; Pb - 130; Zn - 220; Cu - 132; Ni -80 (доп. №1 к пер. ПДК и ОДК № 6229-91), Cr – 100 (А. Кабата – Пендиас, 1989)

Установлено, что прифермское поле с многолетней злаково-бобовой смесью имеет оптимальные агрономические характеристики по почвенному плодородию. Средние значения pH близки к нейтральным, а содержание фосфора высокое. Однако, в отличие от pH, содержание фосфора отличалось высокой пространственной неоднородностью. Так содержание фосфора колебалось по полю от 55 до 225 мг/кг, при этом коэффициент вариации (КВ) составил 40,8%. Размах варьирования pH составил 1,2, а КВ только 4,9%.

Тесная линейная корреляция содержания ТМ с подвижным фосфором при значениях pH [6,26 - 6,65], была выявлена по Pb (0,94), Zn (0,96), Cu (0,94)

и Ni (0,67), с гумусом при значениях pH [6 - 6,24] для Cu (0,66) и Cr (0,69).

Варьирование ТМ на прифермском участке с выровненным рельефом было неодинаковым. Самой высокой изменчивостью (КВ 125%) отличалось содержание свинца, низкой – цинка (КВ 14%).

Следует подчеркнуть, что арифметические средние величины по всем ТМ (кроме Cr) сильно отличались от медиан, что говорит о недостаточной обоснованности заключений по общей экологической ситуации на их основе, из-за сильного смещения от центров распределения. Особенно это характерно для свинца, где на 75% площади участка содержание было ниже чувствительности прибора. На остальной площади содержание свинца доходило до 25 мг/кг. То есть, на данном поле по содержанию свинца выявлены зоны различной концентрации. Расположение опасных зон можно выявить геостатистическим анализом. Судя по отклонениям медиан от средних, медиан от верхнего и нижнего квартилей, содержание ТМ отличалось и характером распределения. Ближе всего к нормальному распределению оказалось содержание хрома. Это позволяет делать обоснованные заключения об уровне экологической напряженности по хрому на данном поле на основе арифметической средней с предельной ошибкой определения  $\bar{x} (\bar{x} \pm t \cdot S_{\bar{x}})$ . Для характеристики по свинцу среднее арифметическое было статистически не обосновано, поскольку оно значительно (на 9,7) отличалось от наиболее вероятной оценки (медианы) из-за высокой доли в выборке нулевых значений. Отсюда, более обосновано опираться на долю площади с содержанием выше ОДК. В нашем случае на не менее половины площади участка свинца не обнаружено. На четвертой части поля (верхний квартиль L75) содержание Pb на 25% превышало средние значения. Это показывает, что могут быть и площади с содержанием ТМ более ОДК и это делает потенциально необходимым выявление расположения загрязненных участков и принятие соответствующих экологических, агротехнических и организационных мер.

Для выявления направленного варьирования были оценены линейные регрессионные связи содержания ТМ с расстоянием от ферм, дорог, источников локальных загрязнений (свалок бытового мусора). В «Дубровицах» на поле №17 тесные зависимости содержания ТМ в почве от удаления от дороги, были установлены для Pb (0,99) и Ni (0,80), на поле №16 для Pb (0,84).

В Тульской области влияние фермы на пространственное распределение ТМ в почве было установлено в «Ударнике» по Zn (0,71), в «Заветах Ленина» по Cd (0,72), Cu (0,86), Ni (0,81), в «Воскресенском» по Cr (0,91). С другими элементами тесной и средней линейной связи и, следовательно, направленной вариабельности не установлено.

Пространственное распределение отдельных тяжёлых металлов в почвах прифермских кормовых угодий зависело от рельефа и расстояния от ферм. На участках с уклонами выявлялись линейные тренды по показателям почвенного плодородия.

Аналогично геостатистической оценке связи содержания ТМ в почвах с

расстоянием площадок опробования от источника загрязнения были найдены зависимости содержания агрохимических (рН,  $P_2O_5$ , гумус) показателей почв. При этом рассчитаны и проанализированы и нелинейные зависимости. Наибольшие значения коэффициента корреляции (0,86) были установлены по рН на поле №16 и по гумусу (0,84) на поле №17 в «Дубровицах». По другим хозяйствам зависимости были слабые. По коэффициентам детерминации наиболее адекватными для описания зависимости содержания ТМ в почвенном покрове прифермского участка «Заветов Ленина» от расстояния до фермы оказались полиномиальные модели. Однако считают, что данной задачи наиболее предпочтительными являются логарифмические и линейные модели (Ю.Л. Мешалкина, 2003).

Таблица 3

**Коэффициенты корреляции между содержанием ТМ  
в почве и расстоянием площадок отбора проб от фермы**

Участки	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
«Дубровицы»						
№16	×	0,84*	0,38	×	0,32	×
№14	×	0,35	0,35	×	×	0,36
№17	×	0,99*	0,53	×	0,80*	×
Дубенской район Тульской области						
«Ударник»	×	×	0,71*	0,42	0,32	0,56
«Заветы Ленина»	0,72*	0,56	×	0,86*	0,81*	×
«Воскресенское»	×	×	0,57	0,27	0,55	0,91*

Примечания: × - не обнаружено; \* - существенны на 5% уровне значимости.

Анализ связи агрохимических показателей плодородия с содержанием ТМ в почвах и растениях методом множественной регрессии в «Воскресенском» показал, что высокие коэффициенты детерминации ( $> 0,9$ ) и, соответственно, адекватные модели множественной регрессии были для рН несколько ниже, чем для фосфора и гумуса. Но для получения предварительной информации по загрязненности кормов ТМ регрессионные модели могут быть не пригодными.

В нашем случае коэффициенты адекватности уравнений системы почва - растение были приемлемыми для фосфора по Pb (0,64) на поле №16 в «Дубровицах» и по Cu (0,61) в «Воскресенском», для гумуса по Pb (0,84) на поле №17 в «Дубровицах», для рН по Zn (0,94) в «Воскресенском».

Что касается незначительной адекватности линейных моделей для цинка или его комплекса с другими элементами, то этот факт объясняется их ненормализованным пространственным распределением. Увеличение адекватности линейной модели для данного элемента достигалось использованием медиан, либо предварительным логарифмированием. Таким образом, успешное прогнозирование пространственного распределения ТМ на

основе регрессионных моделей возможно только для условий конкретного прифермского угодья.

Известно, что высокая взаимосвязь гумусовых кислот с кадмием и свинцом подтверждает их способность к комплексообразованию. Свинец и цинк в наибольшей степени взаимодействуют с гумусом в слабокислой среде. Все три металла синергиста связаны с основными элементами питания почвы в наибольшей степени (В.И. Усенко, 1999).

Для характеристики пространственного загрязнения прифермских земель по комплексу ТМ, использовали автоматическую группировку (кластерный анализ). Результаты анализа позволили выделить наиболее и наименее загрязненные участки и определить их долю. Как и выдвигалось в рабочей гипотезе, на прифермском поле №16 в «Дубровицах» четко выделяются 2 загрязненных участка. Зону (30% площади) с наибольшей концентрацией ТМ в пахотном слое образуют площадки опробования, прилегающие к ферме. Зоны с низким содержанием ТМ (50% площади) оказались в удаленной от фермы части поля.

На поле №17 в «Дубровицах» с небольшим равномерным уклоном кластерным анализом загрязненные участки не выделены, однако по всем элементам наблюдалось закономерное в силу направленности биогеохимических потоков, равномерное увеличение содержания металлов к реке Пахра.

На удаленном от фермы поле №14 со сложным рельефом четко выделена зона концентрации (15% площади участка), приуроченная к конусу выноса водной эрозии. Аналогичная ситуация прослеживается и в «Ударнике», где понижение обуславливает зону концентрации в 20% площади участка.

Таким образом, использованием кластерного анализа показано, что прифермские земли в «Дубровицах» в Московской области и хозяйствах Дубенского района Тульской области отличаются значительными особенностями пространственно-локального комплексного загрязнения почв ТМ. Доля максимально загрязненной площади, выделенная кластерным анализом, составляет около 30%. Существенное влияние на характер пространственного распределения комплексов ТМ в почве оказывают рельеф, удаленность и расположение относительно фермы.

### **3.2. Особенности пространственного распределения тяжелых металлов в растениях на прифермских угодьях**

Средние арифметические значения по большинству ТМ были ниже значений ПДК (табл.4). Исключение составило содержание Cd - в «Воскресенском» (0,4 мг/кг), Ni - во всех хозяйствах, кроме участка № 16 в «Дубровицах»; Сг - на всех участках кроме поля №17 в «Дубровицах».

Содержание ТМ в растительных образцах отличалось значительным (КВ до 143%) пространственно-направленным (не редко сопряженным с влиянием фермы и рельефа) варьированием.. Большее варьирование

показателей было отмечено по Zn (143%) на поле №17 и Pb (114%) на поле №14 в «Дубровицах», по Cr (103%) в «Ударнике» и «Заветах Ленина».

Аналогично характеристике пространственного распределения ТМ в почве была проведена оценка линейной взаимосвязи содержания ТМ в растениях с расстоянием площадок отбора проб от фермы. Установлено, что в «Дубровицах» сильная зависимость на поле №16 по Zn (0,98), Cu (0,77) и Cr (0,94); на поле № 14 была по Ni (0,72); на поле №17 по Zn (0,73) и Cr (0,71). На полях хозяйств Дубенского района Тульской области наибольшие зависимости были по Cr (0,51) в «Ударнике», по Cd (0,85) и Cr (0,74) в «Заветах Ленина», по Zn (0,42) в «Воскресенском».

Таблица 4

**Статистические оценки содержания ТМ (мг/кг) в кормовых растениях**

Хозяйство	Показатель	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
<b>«Дубровицы»</b>							
№16*	$\bar{x}$	x	x	46,6	1,1	0,8	4,8
	$\sigma$	x	x	11,2	0,2	0,4	0,6
	KB	x	33,3	24,1	13,7	50,6	12,3
№14*	$\bar{x}$	x	0,2	0,3	0,1	4,6	3
	$\sigma$	x	0,2	0,2	0,1	1,6	2,1
	KB	x	114,3	56,5	72,1	34,5	68,9
№ 17 (кормовые корнеплоды)	$\bar{x}$	x	x	0,3	1,2	8,2	0,3
	$\sigma$	x	x	0,5	0,4	1,1	0,1
	KB	x	x	142,7	29,7	13,6	41,1
<b>Дубенской район Тульской области</b>							
«Ударник» (озимая рожь)	$\bar{x}$	0,1	0,2	0,3	0,1	4,5	0,9
	$\sigma$	0,1	0,2	0,1	0,1	1,7	0,9
	KB	48,7	97,2	24,4	48,7	38,1	103,5
«Заветы Ленина» (картофель)	$\bar{x}$	0,3	0,2	0,4	0,3	4,6	2,2
	$\sigma$	0,1	0,1	0,2	0,2	1,9	2,2
	KB	26,7	60,4	51,3	63,7	40,6	103,9
«Воскресенское» (люцерна)	$\bar{x}$	0,4	0,2	0,4	0,2	5	2,8
	$\sigma$	0,2	0,2	0,1	0,1	2,9	2,5
	KB	55,8	98,6	32,3	52,7	57,7	90,4

Примечания: МДУ ТМ (грубые и сочные корма), мг/кг: Cd-0,3; Pb-5,0; Zn-50,0; Cu - 30,0; Ni-3,0; Cr-0,5 (Г.А.Таланов, 1991); x - не определено; \*многолетние злаково-бобовые смеси

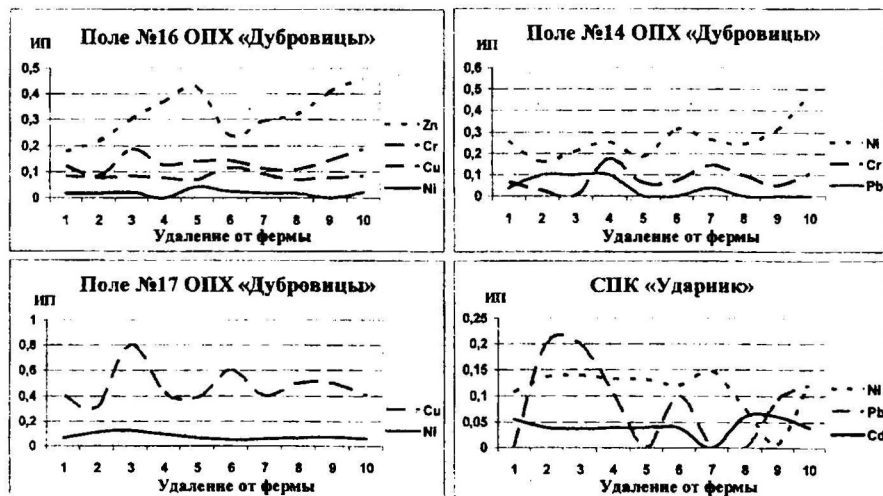
В результате оценки линейной связи содержания ТМ в почвах и растениях установлено, что зависимость содержания ТМ в растениях от расстояния до фермы несколько меньшая, чем в почвах. Это может быть обусловлено неодинаковой долей компонентов агрофитоценозов и их поглотительной способностью.

### 3.3. Особенности миграции ТМ в цепи почва – растение на прифермских землях

Для определения миграции и прогнозирования содержания ТМ в системе почва - растение используются аналитические индексы поглощения (ИП) и вероятностные (регрессионные модели) методы (Ю.И. Ермохин, 2001). Индексы поглощения ТМ рассчитывали как отношение средних величин содержания элемента в растении к средним величинам содержания в почве.

Полученные на прифермских полях ИП расположили по мере убывания по металлам: Ni > Cr > Pb > Zn, Cu на поле №14, Zn > Cr > Cu > Ni на поле №16, Cu > Ni > Zn на поле №17 в «Дубровицах»; Ni > Pb > Cd > Zn, Cu, Cr в «Ударнике»; Ni > Cd > Cr > Pb > Cu > Zn в «Заветах Ленина»; Ni > Cd > Pb > Cr > Zn, Cu в «Воскресенском». ИП показали высокую изменчивость на прифермских полях по Pb (КВ 120%), Zn (КВ 130%), Cr (КВ 103%), низкую по Cu (КВ 16%).

Обобщенные ИП информативны лишь для нормально распределенных элементов и не отражают специфику пространственной изменчивости, выявляемую распределением индивидуальных отношений. Для хозяйств Тульской области наиболее отчетливо графическим методом по индивидуальным индексам поглощения пространственная неоднородность выявляется по Pb и Ni, а в «Дубровицах» - по Zn, Ni и Cu (рис. 2).





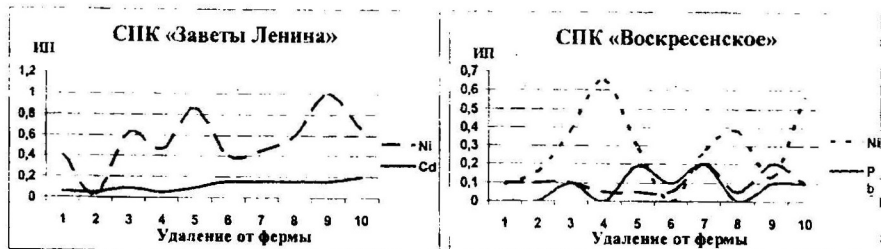


Рис.2. Индексы поглощения ТМ растениями обследованных хозяйств

Линейный регрессионный анализ ненормализованных данных не повсеместно выявил прямую связь индексов поглощения ТМ с расстоянием площадок отбора проб от фермы: по Zn (0,69) на поле №16, Ni (0,69) на поле №14, Zn (0,64) на поле №14 в Дубровицах; по Cd (0,90), Cu (0,75) и Cr (0,77) в Заветах Ленина; по Zn (0,66) в Воскресенском.

Такой результат объясняется, главным образом, различной способностью растительных кормов поглощать подвижные формы ТМ из почвы с их повышенной концентрацией. В нашем случае максимальный коэффициент корреляции по Cd (0,90) в «Заветах Ленина» подтверждает заключение о неодинаковой пространственной неоднородности распределения ТМ в почвах и в растениях на прифермских участках. Это диктует необходимость определения коэффициентов поглощения ТМ по кормовым культурам при прогнозировании производства экологически чистых кормов не только по хозяйству и на основе арифметических средних, но и для каждого конкретного прифермского участка на основе отбора проб с учетом пространственного распределения и статистически обоснованного усреднения.

Использование регрессионных линейных моделей при описании зависимости миграции ТМ в системе почва-растение было эффективным и обоснованным для прогноза производства экологически чистых кормов в «Дубровицах» - по Ni и Cr; в Дубенском районе - по Cd и Pb (табл.5).

Таблица 5

**Коэффициенты корреляции зависимости содержания ТМ в растениях от содержания в почвах**

Участки	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
<b>«Дубровицы»</b>						
№16**	×	×	0,16	0,27	0,63*	0,26
№14**	×	0,33	0,42	0,18	0,23	0,67*
№17 (Кормовые корнеплоды)	×	×	0,28	0,17	0,48	×
<b>Дубенский район Тульской области</b>						
Ударник (озимая рожь)	0,74*	0,13	0,07	0,23	0,57	0,62
«Заветы Ленина» (картофель)	0,55	0,13	0,24	0,5	0,43	0,44
«Воскресенское» (люцерна)	0,11	0,59*	0,12	0,54	0,34	0,02

Примечания: × - не обнаружено; \* - существенны на 5% уровне значимости;

\*\*многолетние злаково-бобовые смеси.

Адекватность нелинейных моделей лишь незначительно была выше. Низкая адекватность регрессионных моделей на прифермских землях связана, главным образом, с отсутствием выполнения основных предпосылок метода – нормальности распределения ТМ в кормовых растениях.

Следовательно, в связи с высокой ненормализованной пространственной неоднородностью содержания ТМ в растениях, прогноз загрязненности кормов с прифермских угодий обосновано вести с помощью регрессионных моделей.

### 3.4. Содержание ТМ в животноводческой продукции

Качество животноводческой продукции на фермах обследованных хозяйств различалось, но не выходило за пределы экологических норм, кроме молока в Воскресенском (табл. 6).

В «Дубровицах» загрязненность мяса и молока по всем шести ТМ не превышала ПДК (СанПиН 2.3.2.1078-01 от 14.11.01). Из-за использования загрязненной воды в Воскресенском молоко оказалось с повышенным (1,7 ПДК) содержанием кадмия.

Таблица 6

**Содержание токсических элементов в животноводческой продукции в Дубровицах и Воскресенском, мг/кг**

Наименование образца	Токсические элементы и их предельно допустимые концентрации					
	Zn	Cu	Hg	As	Cd	Pb
«Дубровицы»						
Молоко	3,35	0,52	0,005	0,023	0,009	0,072
Мясо	28,7	1,7	0,006	0,002	0,007	0,07
«Воскресенское»						
Молоко	1,65	0,5	0,003	0,05	0,05	0,08
Мясо	22,3	0,25	0,03	0,07	0,04	0,38
ПДК						
Молоко	5	1	0,005	0,06	0,03	0,1
Мясо	70	5	0,03	0,1	0,05	0,5

### ВЫВОДЫ

1. Проведено агроэкологическое обследование и дана оценка прифермских угодий сельскохозяйственных предприятий промышленно развитых районов Московской и Тульской областей. Загрязнение почвы ТМ различалось как по хозяйствам, так и по полям. По средним арифметическим значениям содержание ТМ в «Дубровицах» составило: по Cd - 1,3 ОДК, Pb - 0,2 ОДК, Zn - 0,3 ОДК, Cu - 0,1 ОДК, Ni - 0,7 ОДК и Cr - 0,4 ОДК. Наибольшее содержание ТМ было в «Ударнике» Cd - 2

ОДК и Cr - 2 ОДК; в «Заветах Ленина» по Cd - 2 ОДК и Zn - 1,5 ОДК; в «Воскресенском» по Cd - 2 ОДК, Zn - 1,5 и Cr - 2,5 ОДК.

2. Содержание ТМ в почвах прифермских угодий характеризуется сильным ненормализованным варьированием (14-125%), зависящим от расстояния угодья до фермы. Максимальное отношение стандартного отклонения к средней (по свинцу - 1,26, хрому - 0,43) отмечается на прилежащих, минимальное (0,07 – по цинку) – на удаленных полях. В связи со значительной ненормализованной пестротой наиболее обоснованно, при обследовании прифермских угодий, использовать регулярно-случайные схемы отбора проб и, при статистической обработке, вычислять долю площади выше ПДК/ОДК, а вместо смещенной арифметической средней – медиану.
3. Содержание ТМ на прифермских землях тесно связано с показателями плодородия почв. Тесные линейные корреляционные зависимости содержания ТМ с подвижным фосфором при значениях pH [6,26 - 6,65], выявлены для свинца ( $R=0,94$ ), цинка (0,96), меди (0,94) и никеля (0,67), с гумусом при значениях pH [6 - 6,24] для меди (0,66) и хрома (0,69).
4. Пространственное распределение отдельных тяжёлых металлов в почвах прифермских кормовых угодий зависит от рельефа и расстояния от ферм. По свинцу тесные линейные связи с удаленностью от ферм на выровненных по рельефу участках (0,84–0,99) выявлены в «Дубровицах», по кадмию – в «Заветах Ленина» (0,72). На участках с уклонами могут выявляться линейные тренды по показателям почвенного плодородия.
5. На прифермских землях загрязнение отдельными тяжелыми металлами почвы или комплексами может быть локальным. Очаги с наибольшим содержанием ТМ приурочены к ферме, свалкам и пониженным элементам микрорельефа. Доля максимально загрязненной площади, выделяемая кластерным анализом, может превышать 30%.
6. Содержание ТМ в кормовых растениях большинства обследованных прифермских угодий индустриального центра РФ не превышало (по средним) ПДК, но отличалось значительным (по коэффициенту вариации до 143%) пространственно направленным (нередко сопряженным с влиянием фермы и рельефа) варьированием. В связи с загрязнением кормовых растений в Тульской области кадмием («Воскресенское») обоснованно отказаться от отбора объединенных проб, а при статистическом анализе выделять долю образцов, превышающих ПДК.
7. В упорядоченных рядах обобщенных (средних) индексах поглощения ТМ кормовыми растениями в Московской области на первом месте находятся медь, никель и цинк, последнем – цинк, медь и никель; в Тульской области, на первом месте – никель, на последнем цинк, медь и хром.

8. Прифермские угодья отличаются масштабами и спецификой пространственной изменчивости индексов поглощения. Максимальной относительной пространственной изменчивостью характеризовались индексы поглощения свинца и никеля, минимальной - кадмия и хрома. В отдельных хозяйствах индексы поглощения свинца и цинка тесно связаны с удаленностью участка от фермы.
9. В связи с высокой, ненормализованной пространственной неоднородностью содержания ТМ в растениях, прогнозирование загрязненности кормов с прифермских угодий обосновано вести с помощью регрессионных моделей.
10. В центральном районе РФ фермы крупного рогатого скота могут являться источником пространственно - неоднородного загрязнения прилегающих прилежащих сельскохозяйственных угодий ТМ, что необходимо учитывать при агроэкологическом обследовании и производстве. Наиболее значимое влияние фермы на пространственную неоднородность содержания тяжелых металлов отмечается на склонах.
11. Загрязненность мяса и молока в «Дубровицах» по свинцу, меди, цинку, мышьяку и кадмию не превышала ПДК. Повышенное содержание кадмия (1,7 ПДК) в молоке в Воскресенском связано с загрязненностью воды.

**Основные положения диссертации изложены  
в следующих печатных работах:**

1. Веротченко, М.А. Взаимосвязь между уровнями загрязнения тяжелыми металлами почв и кормовых растений / М.А.Веротченко, Н.Ф.Хохлов, А.С.Метелкин // Материалы 4-й научной конференции. - Великий Новгород, 2003. - С. 189-192.
2. Веротченко, М.А. Агроэкологическая оценка почв ОПХ «Дубровицы» / Н.Ф.Хохлов, Т.В.Чомаева, А.С.Метелкин // Материалы всероссийской научной конференции. - Дубровицы, 2003.- № 1. - С. 107 -110.
3. Метелкин, А.С. К методике агроэкологического обследования почвы прифермских полей // Тезисы докладов 10-й международной научной конференции.- М.: МГУ, 2003. - С. 88 - 89.
4. Веротченко, М.А. Эколого-биохимическая оценка прифермских полей Тульской области / М.А.Веротченко, Н.Ф.Хохлов, А.С.Метелкин // Геоэкологические проблемы загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами: материалы 2-й международной геоэкологической конференции ТГУ. - Тула, 2004. - С. 13-16.
5. Веротченко, М.А. Агроэкологическая оценка прифермских угодий в хозяйствах Тульской области / М.А.Веротченко, Н.Ф.Хохлов, А.С.Метелкин // Аграрная наука в решении проблем АПК и экология региона: материалы научно - практической конференции. - Великий Новгород, 2004. - С. 235 -237.

6. Веротченко, М.А. Эколого-биогеохимическая оценка прифермских полей в Тульской области / М.А.Веротченко, Н.Ф.Хохлов, А.С.Метелкин // Материалы 5-й научной конференции. - Великий Новгород, 2005. - С. 131 - 135.
7. Веротченко, М.А. Использование хитозана и цеолита в качестве сорбентов тяжелых металлов / М.А.Веротченко, Ю.П.Фомичев, Н.Ф.Хохлов, Ю.В.Хвостов, А.В.Хвостова, А.С.Метелкин // Зоотехния. - 2005. - № 7. - С. 30 - 32.
8. Метелкин, А.С. Особенности пространственного распределения тяжелых металлов в почвах прифермских севооборотов / А.С.Метелкин, Н.Ф.Хохлов // Известия ТСХА. - 2007. - № 4. - С. 45 - 48.

Подписано в печать 19.02.2008 г.  
Формат 60x84 1/16. Печать офсетная. Объем 1,0 п.л.  
Заказ 183 Тираж 100 экз.

Издательство РГАЗУ  
143900, Балашиха 8 Московской области



102

102